

УДК 621.791:629.7/930 **О.М. КОРНІЄНКО**, кандидат технічних наук,
доктор історичних наук,
провідний науковий співробітник,
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України,
03680, Україна, Київ, вул. Казимира Малевича, 11,
<https://orcid.org/0000-0001-5784-0930>,
e-mail: korney@paton.kiev.ua

БІЛЯ ВИТОКІВ КОСМІЧНОЇ ІНДУСТРІАЛІЗАЦІЇ

Історію зародження та створення технології зварювання в космосі викладено на основі систематизації матеріалів публікацій, архівів і мемуарів. У 1963 р. директор Інституту електрозварювання (ІЕЗ) ім. Є.О. Патона академік Б.Є. Патон запропонував створити зварювання в космосі. Головний конструктор ракет С.П. Корольов підтримав цю ідею. Робота виконувалася поетапно. Невеликі вакуумні камери було виготовлено в наукових відділах ІЕЗ. Режими і вимоги до обладнання дугового зварювання та електронно-променевого зварювання досліджували в цих камерах. Спеціальні вакуумні стени були виготовлені для розміщення в літаку для підготовки космонавтів. Стан невагомості 25–30 секунд створено при польоті літаючої лабораторії по кривій Кеплера. Співробітники ІЕЗ включали апарати і спостерігали за зварюванням зразків. Результати досліджень реєстрували кінозйомкою і осцилографуванням. На підставі цих досліджень було розроблено вимоги до апарату для розміщення на космічному кораблі і експерименту зі зварювання в космічних умовах. Вчені вирішували проблеми розплавленого металу в невагомості, дугового зварювання у вакуумі. Конструктори зварювальних апаратів вирішували проблему зменшення ваги і споживання електроенергії, надійної роботи систем автоматичного управління.

Перші в світі космічні експерименти зі зварювання і різання металів дугою низького тиску, дугового плазмою і електронним променем виконано 16 жовтня 1969 року на апараті «Вулкан» космонавтом-випробувачем В.М. Кубасовим. Визначено, що в якості джерела нагріву найбільш доцільно використовувати електронний промінь. Сварка в космосі оцінюється як черговий науково-технічний прорив у історії людства. У наступні роки космічні технології почали розроблятися в інших країнах. Широку програму досліджень розгорнуто в галузі фізики невагомості, матеріалознавства, будівництва конструкцій, астрофізики та ін.

Ключові слова: *індустріалізація космосу, зварювання в космосі, історія техніки, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, космічний корабель «Союз-6», космонавт-дослідник.*

Вступ. З набуттям Україною незалежності, зі зміною політичних і економічних орієнтирів держави виникла об'єктивна необхідність у посиленні уваги до пріоритетів у розвитку науково-технічного мислення. Внесок у науково-технічний прогрес поруч із економічними мотивами завжди був справою національного престижу. За кордоном посилились дослідження історії розвитку ракетно-космічної галузі та освоєння космосу. Але визначити внесок у цю галузь, зроблений у другій половині минулого століття науковими і конструкторськими установами, підприємствами, конструкторами, організаторами досліджень і виробництва з України доволі складно через такі фактори як колишня секретність і глобальна кооперація. Основна мета такого дослідження — вписати історію розвитку технічної науки і виробничих досягнень в Україні у контекст світової історії. Одним із таких видатних внесків є започаткування космічного зварювання саме вітчизняними науковцями. Але на цьому шляху вони стикнулись як із технічними, так і з організаційними проблемами. Йдеться про перший у світі експеримент зі зварювання у космосі. Відтоді минуло рівно 50 років, у відритому доступі вже є нові матеріали [1, 2].

На жаль, в масових джерелах інформації не показано історію створення нової технології та обладнання і роль співробітників Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона у підготовці та випробуванні зварювання в умовах, що імітують космічні, як представляє великий інтерес. Не менш цікава і робота Б.Є. Патона як ініціатора, керівника і безпосереднього учасника створення нової технології. Водночас в цих джерел перебільшено роль В.М. Кубасова, робота якого була зведена до натискання кнопки зварювального автомата. Цим обумовлюється необхідність доповнення і корегування інформації про створення цієї провідної технології.

Експеримент в реальних умовах космосу підтвердив правильність конструктивних рішень і виявив найбільш перспективне джерело енергії для зварювання, різання металів, та споріднених технологічних процесів. Взагалі цей унікальний експеримент започаткував еру космічних технологій. У майбутньому, коли людство почне промислове освоєння Місяця і планет, значення робіт українських вчених отримає належну оцінку. Проведені дослідження історії зварювання у космосі стануть першоджерелом для історіографів.

Актуальність обраної теми. Саме вихід людини у Космос вважається одним із найважливіших досягнень другої половини ХХ ст. Перші запуски штучного супутника Землі та людини широко відомі. Значення роботи Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України зі зварювальних і споріднених технологій, які відкрили людству можливість індустріалізації в космосі, ще не оцінено.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Першим офіційним історичним джерелом є повідомлення ТАРС¹ від 16 жовтня 1969 року: «До 11 годин за московським часом 16 жовтня кораблі «Союз-6», «Союз-7» і «Союз-8», що продовжують груповий політ, зробили відповідно 79, 63 і 47 обертів навколо Землі. Члени екіпажів космічних кораблів виконували заплановані програмою польоту науково-технічні та медично-біологічні дослідження, а також проводили подальше відпрацювання способів ручного маневрування на орбіті.

Екіпаж космічного корабля «Союз-6» у складі підполковника Г.С. Шоніна і бортінженера В.М. Кубасова здійснив експерименти з проведення зварювальних робіт в космосі. Метою цих експериментів було визначення особливостей зварювання різних металів в умовах космічного простору.

Корабель «Союз-6» оснащений унікальною технологічною апаратурою, призначеною для дослідження різних способів зварювання металів в умовах глибокого вакууму і невагомості.

Проведений експеримент є унікальним і має велике значення для науки і техніки при розробленні зварювально-монтажних робіт в космосі».

Тобто світова спільнота усвідомила, що експеримент підготовлено добре і проведено безпомилково. В.М. Кубасова не відокремлено від Г.С. Шоніна і він особисто не отримав «титул космічного зварника».

В наступні декілька років результати експериментів вивчалися і цікавили тільки спеціалістів деяких країн, які займалися проблемами освоєння космосу, міжпланетних польотів. Але іноді наукова інформація містила певні суперечності. Наприклад, у збірниках статей в журналах зі зварювання є розходження стосовно кількості проведених експериментів і результатів зварювання в лабораторіях і космосі [3—5].

Перша науково-популярна публікація з'явилася одночасно з початком робіт в Інституті електрозварювання (ІЕЗ). Б.Є. Патон доводив необхідність створення виробничих технологій для подальшого освоєння космосу. Він писав: «Письменники-фантасти полюбляють описувати гострі моменти, коли маленькі осколки метеоритів пробивають обшивки кораблів. При цьому завжди виникають драматичні ситуації, в яких космонавтів рятують або надміцні скафандри, або різні екрани космічної захисту. Але мені здається, що відправляючи міжпланетні кораблі незвіданими трасами, людство розробить більш надійні способи захисту. Ну, а якщо все ж таки в один з відсіків потрапить метеорит, то в ліквідації аварії космонавтам допоможе механічний робот-зварювальник. Електронні оператори в соті частки секунди визначать рівень аварії, вирахують за швидкістю падіння тиску розмір ураження, миттєво дадуть завдання роботів-зварнику. Ще більша роль робіт цього профілю відводитиметься під час будівництва всіх без винятку космічних об'єктів. Космічні ракети, станції, міста. Щоб їхні оболонки надійно захи-

¹ Телеграфна агенція Радянського Союзу.

щали людину від усіх шкідливих впливів, буде потрібно створення і з'єднання надміцних матеріалів в умовах космосу» [6, с. 13]. Найбільш доступна інформація про політ і проведені дослідження викладена в оглядових статтях, зокрема з нагоди ювілеїв [7—15].

Цікавою є розповідь самого В.М. Кубасова:

«Десь у 66-му році нас відправили на підготовку в Зоряне містечко. На цю справу було виділено приблизно 3 роки. Це був груповий політ кораблів «Союз-6», «7», «8». 11-го жовтня 1969 року удвох із Шоніним на кораблі «Союз-6» ми вирушили в космічний політ. У цій експедиції мені було доручено виконати перший експеримент зі зварювання металу в космосі. Тоді це був досить-таки сміливий експеримент, адже до цього мати справу з розплавленим металом не наважувалися навіть на літаках. Потрібно було випробувати, як піде процес зварювання в умовах невагомості та глибокого вакууму. У майбутньому в космосі передбачалося здійснювати велике будівництво і проведення ремонтних робіт.

Цей експеримент пройшов дуже несподівано. При одному з видів зварювання — зварювання електронним променем — промінь розрізав зварювальний стіл зі зразками і дістався корпусу побутового відсіку корабля, залишивши на ньому глибокий слід. Але про все по порядку. Експеримент проводився в такий спосіб. Корабель складався з апарату, що спускається, і орбітального відсіку. Ми перебували в спусковому апараті, а зварювальна установка — в орбітальному відсіку. Відсік потрібно було розгерметизувати для створення вакууму. Я включав різні види зварювання за допомогою пульта. Коли ми закінчили експеримент і повернулися в орбітальний відсік, то я відчув дивний запах і побачив оплавлений слід на корпусі корабля довжиною 20—25 см. Звісно, ми злякалися, тому що були без скафандрів, а корпус міг лопнути. Довелося знизити тиск, щоб повернутися за зразками. Я відкрив люк, швидко вийшов туди один і забрав зразки. Коли ми долетіли до зони зв'язку із Землею, я доповів про те, що трапилося. Прийшов наказ закрити люк між відсіками і більше туди не ходити, що ми і зробили» [16, с. 153].

Однак М.П. Каманін трохи інакше описує цю історичну подію: «Цікавий, унікальний експеримент було проведено 16 жовтня екіпажем космічного корабля «Союз-6». Перед ним стояло завдання з проведення зварювальних робіт у космосі. Треба було з'ясувати особливості зварювання різних металів в умовах вакууму. Немає потреби доводити, наскільки важливий цей експеримент для майбутніх робіт зі збирання конструкцій великих орбітальних станцій із застосуванням зварювання.

На наш пункт управління командир корабля Г.С. Шонін доповів про готовність до експерименту. Йому було дано дозвіл. Незабаром він доповів про те, що закритий люк лазу в кабінку і на 77-му витку розгерметизував орбітальний відсік. Бортінженер В.М. Кубасов включив зварювальну апаратуру і по черзі здійснив кілька видів автоматичного зварювання.

— Зварювання проведено! — доповів Валерій Кубасов про виконання експерименту.

Орбітальний відсік знову було загерметизовано і в ньому незабаром встановився нормальний тиск. І знову повідомлення про виконання експерименту пролунало знайомою фразою: «Вперше в світі!» [17, с. 423].

Метою статті є виправлення помилок в описі проведення експерименту, введення у науковий обіг невідомих раніше технічних деталей, уточнення і конкретизація внеску основних учасників створення першої в світі космічної технології.

Методика. Для дослідження застосовано метод системного історико-ретроспективного аналізу архівних документів, наукових публікацій, мемуарів та інтерв'ю. При цьому враховано політико-організаційні обставини, суб'єктивні чинники і технологічні особливості процесів зварювання,

Результати дослідження. *Б.Є. Патон дає старт першій космічній технології.* У книзі, що вийшла до 90-річчя Б.Є. Патона, його найближчі соратники академіки НАН України І.К. Походня і В.К. Лебедев пишуть: «Як правило, Борис Євгенович відпочиває в Криму і там певний час присвячує генеруванню нових ідей, підготовці конкретних завдань для Інституту електрозварювання та інших інститутів НАН України, апарату Президії НАН України. В академічних колах ці його завдання отримали назву «чорноморські хвилі». Після відпустки всі доручення «морських хвиль» обговорюються, готуються планові завдання на найближчий час, на півроку і на перспективу» [18, с. 128].

Невідомо, яким гострословом вигадано назву цих заходів, але вони не дають ученим «застоюватися», вимагають займатися складними дослідженнями, проблемами науково-технічного прогресу. Виконувати такі завдання було нелегко, але з багатьох напрямів роботи вітчизняні вчені лідирували. А в 1963 році Борис Євгенович поставив самому собі завдання, яке багатьом здалося фантастичним. Він вирішив створити технологію зварювання у космосі.

На питання В. Губарева: «До космосу вас привабив Корольов? Це була його ініціатива?» Б.Є. Патон відповів: «Я дуже сам хотів займатися цією справою. Тоді космос був екзотикою, все прагнули до нього. З виробництвом ракет, кораблів, супутників ми були пов'язані. Але то були зовсім «земні» справи, а хотілося працювати поза Землею. І Корольов допоміг здійснити цю мрію» [19].

«У фантастику я потрапив, коли вперше побував на підприємстві у Сергія Павловича Корольова. Це було, по-моєму, в 59-му році. Він показав мені складальний цех, показав корабель Гагаріна <...> Потім я був у нього кілька разів. Одного разу і «Союз» показав <...> Я запам'ятав саме ці відвідини, бо Корольов тоді почав фантазувати. «Ми зробимо з вами, — говорив він, — оранжереї в космосі, про що мріяв Ціолковський. Це будуть величезні конструкції, і ми їх будемо зварювати в космосі!» Саме при ньому почалися наші спільні роботи, в тому числі і зварювання в космосі. Він розумів, що воно потрібне для орбіталь-

них польотів. При ньому ми зробили перший апарат, який запустили в 69-му році» [19].

Багато хто вважав, що це завдання випереджає час і поки що його реалізація недоступна. Проблема була абсолютно новою, з десятком невизначених параметрів. Було ясно, що грандіозна індустріалізація космосу має вирішуватися з урахуванням особливостей цього середовища. Для застосування в умовах невагомості жодна із земних технологій не призначалася. Більшість технологій зварювання, пайки і напилення основані на нагріванні. Космосу були потрібні універсальні виробничі технології.

Не було і досвіду конструювання і випробування відповідного обладнання і засобів захисту. Наприклад, як будуть функціонувати у вакуумі ковзаючи штоки і вали, чи не будуть вони «схоплюватися»? Проте було зрозуміло, що багато фізичних явищ, що відбуваються на молекулярному рівні (поверхневий натяг, адгезія, змочування, капілярний тиск та ін.), в умовах космосу повинні виявлятися більш активно, ніж на Землі. При зварюванні основний метал розплавляється, і рідку ванну може не втримати поверхневий натяг, що дуже небезпечно для космонавтів і для корабля. Те ж саме можна сказати про проблему розбризкування металу при зварюванні [20].

Розроблення техніки за першим завданням — земні процеси у вакуумі. І на першому етапі було призначено широкомасштабний пошук, (прізвища ми опускаємо):

Протокол наради у директора №472. від 18.11. 1963 р.

Слухали: Про роботи по створенню установок і технології зварювання металів в космосі. (Повідомлення Б.Є. Патона)

Вирішили: 1. Вважати за доцільне в 1964 р. в наукових відділах ІЕЗ приступити до роботи комплексної пошукової теми зі зварювання в космосі.

2. Доручити тов. Дудко, під його особисту відповідальність в листопаді-грудні 1963 р. з'ясувати у відповідних організаціях необхідні ТЗ (технічне завдання) і ТУ (технічні умови) на зварювання в космосі.

Директор Інституту

Академік Б.Є. Патон.

Протокол наради у директора №12 від 30.12. 1963 р.

Слухали: Про роботи зі зварювання в космосі.

Вирішили: У 1964 р. приступити до широких космічних досліджень по створенню способів зварювання в космосі, що включають розробку технології, техніки та обладнання для зварювання та різання, а також дослідження металургійних питань зварювання різних металів в специфічних умовах космосу. Вважати за необхідне з лютого 1964 р. приступити до пошуків і експериментальних робіт з наступним напрямком:

а) дугове зварювання плавленням / зварювання дугою і плазмою, зварювання з присадкою і без неї;

б) електронно-променеве зварювання /без присадки і з присадкою/;

в) дифузійне зварювання;

г) газопресове зварювання і газове зварювання плавленням;

д) холодне зварювання;

е) паяння і зварювання різнорідних металів;

ж) різання газ-кисень, плазма, лазер, електронний промінь/;
з) нові методи зварювання.

Виконавців робіт для космосу з лютого 1964 р. звільнити від робіт по іншій тематиці, повністю переключивши на тематику зварювання в космосі.

Загальне керівництво НДР з проблеми «Зварювання в космосі» покласти на директора ІЕЗ т. Патона. Хід НДР по даній тематиці 1 раз на місяць обговорювати у директора ІЕЗ.

Директор Інституту

Академік Б.Є. Патон» [21]. (Пояснюємо: у той час «загальне керівництво» означало «особиста відповідальність за всю роботу».)

У 1964 році, коли світ ще продовжував дивуватися масштабності проєктів, здійснюваних у СРСР в галузі космонавтики, було складено план спільних робіт зі зварювання в космічних умовах, підписаний С.П. Корольовим — керівником ОКБ-1 (тоді входив до складу НДІ-88, зараз Ракетно-космічна корпорація «Енергія» ім. С.П. Корольова) та Б.Є. Патонем — директором ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Так було зафіксовано початок нової науково-технічної галузі — космічної технології.

Критеріями оцінки технологій були універсальність, технологічність, простота. До обладнання висувалися вимоги надійності, безпеки, мінімальних енергоємності, обсягу і маси. Порівняно швидко вдалося встановити непридатність ряду способів зварювання. На першому етапі були відібрані електронно-променеве, плазмове, дугове електродами, що плавляться, контактне та холодне зварювання.

Терміново Б.Є. Патон розгортає дослідження зварювальних технологій в умовах, що імітують космічні. Точніше, в одній з «умов» — у вакуумі. На першому етапі дослідження були безпосередньо доручені провідним вченим ІЕЗ ім. Є.О. Патона — Д.А. Дудку, В.К. Лебедеву, І.К. Походні, Б.О. Мовчану, В.Є. Патону. У свою чергу, С.П. Корольов підключив до робіт М.В. Мельникова, М.К. Тихонравова, А.А. Северова, І.І. Райкова, Я.І. Трегуба, В.К. Гришина, В.П. Нікітського. До роботи залучалися вчені Інституту електродинаміки (Ю.І. Драбовіч і М.М. Юрченко), Інституту загальної та неорганічної хімії та інших інститутів АН УРСР.

Універсальне зварювання, придатне майже для будь-яких металів і сплавів, — це дугове зварювання вольфрамовим електродом в інертних газах. Причому, якщо стиснути стовп дуги в спеціальних пальниках, ступінь іонізації підвищується і така технологія називається плазмовим зварюванням. Її освоєння було доручено С.П. Лакізі — керівникові лабораторії, де вперше в світі було створено плазмове зварювання алюмінієвих сплавів на змінному струмі.

Фахівцям із дугового зварювання плавкими електродами А.Є. Марченку, Ю.Д. Морозову, В.І. Пономарьову доручили вивчити процеси плавлення електродів — дроту з різних металів, коли дуга горить в парах цих металів.

Електронно-променеве зварювання здавалось безпроблемним тому, що воно виконується у вакуумі. Але потік електронів створювався досить складними громіздкими пристроями — електронними гарматами. Електрони

виривали з емітера при високій напрузі, фокусували, розганяли і спрямували за допомогою магнітних лінз. Однак маніпулювати вручну таким величезним інструментом неможливо. І ніде в світі ручної електронної гармати не було. Вирішувати цю проблему довелося О.К. Назаренку, В.І. Чалову та іншим.

Досліджувалося також контактне зварювання (Г.В. Горбунов, А.І. Берзин, В.В. Юматов, В.Ф. Берестян). Системи електроживлення створювалися В.Д. Шелягінін та ін., системи автоматичного управління, контролю установок і телеметрії — Ю.М. Ланкінін, Ю.А. Масаловим та Є.М. Байштруком.

Роботи наукових, технологічних, конструкторських відділів, майстерень і заводу експериментального обладнання координував заступник директора Д.А. Дудко.

Мабуть підсвідомо Б.Є. Патон увів такий самий режим роботи, який був у ІЕЗ у воєнні роки при дослідженні і впровадженні першої в світі технології автоматичного зварювання броньових конструкцій. Але його захоплення цією проблемою було очевидним. Про те, з якою напругою створювалася незвичайна техніка, розповів один із провідних фахівців і наставник космонавтів — випробувачів О.А. Загребельний: «Наш відділ космічних технологій створювався довго і важко. Робота всі роки була дуже напруженою. Багато до нас рвалися — і «вершки», і звичайні фахівці. Поступово відбувався відбір співробітників, найбільш підготовлених до наших умов. Б.Є. Патон 2—3 рази на тиждень приходив до відділу і детально вникав в усі сторони роботи. Відділ — його дітище. Якось раз, років п'ять тому, коли академія потрапила в дуже скрутне становище, він сказав: «Хоча б що буде з інститутом, а відділ космічних технологій загине останнім! <...> Б. Є. Патон цю роботу починав з чистого аркуша! Незважаючи на це, не раз «приводив нас до тями», охолоджував наші зайві фантазії, підкидав перспективні ідеї <...> Він дуже врівноважено ставиться до всіх напрямів робіт, але наш відділ його улюблене дітище! І тому нам від Б.Є. Патона, як кажуть, «ні спасу» — розробки за його ідеям слідують одна за одною. Іноді хочеться сказати — пожалійте! Але сам він працює так, немов вважає себе безсмертним» [22, с. 139—140].

Ілюстрацією можуть служити сотні протоколів нарад і конкретних доручень. Наприклад, таких (прізвища ми опускаємо):

Протокол наради у директора № 410 від 27.06.1964 р.

Слухали: Про роботи зі зварювання в космосі.

Вирішили: Попередити усіх виконавців. Що якщо при перевірці на початку вересня буде встановлено невиконання завдання з даного протоколу, то виконавці будуть знижені на посаді і на них будуть накладені адміністративні стягнення».

Директор Інституту

академік Б.Є. Патон

Протокол наради у директора № 458 від 2.07.1964 р.

Слухали: Про роботи зі зварювання в космосі.

Вирішили: Прийняти до відома висновки і пропозицію комісії з приймання способу дугового плазмового зварювання. До 24.09.64 видати основні вимоги до зразка для зварювання в «бочці» і межі потужності.

*Директор Інституту академік Б.Є. Патон
А, між іншим, місяць «08» — серпень — традиційний в ІЕЗ час відпусток.*

Протокол наради у директора № 504 від 19.09.1964 р.

Слухали: Про хід робіт по темі «ЗІРКА»

Вирішили: Прийняти до відома висновки і рекомендації комісії з приймання гармати і технології ЕПЗ.

До 25.09.64 р видати повне технічне завдання на зразок для ЕПЗ.

Директор Інституту академік Б.Є. Патон

Протокол наради у директора № 526 від 29.09.64 р.

Слухали: Про хід робіт по темі «ЗІРКА»

Вирішили: До 10 жовтня 1964 р терміново створити, переобладнавши наявне обладнання, лабораторне джерело живлення з широкими можливостями для безперервних робіт малогабаритної гармати для ЕПЗ.

Графік робіт подати на затвердження до 5.10.64 р.

Вранці 1.10.64 р. надати директору конкретні пропозиції щодо переобладнання існуючого джерела живлення для ЕПЗ.

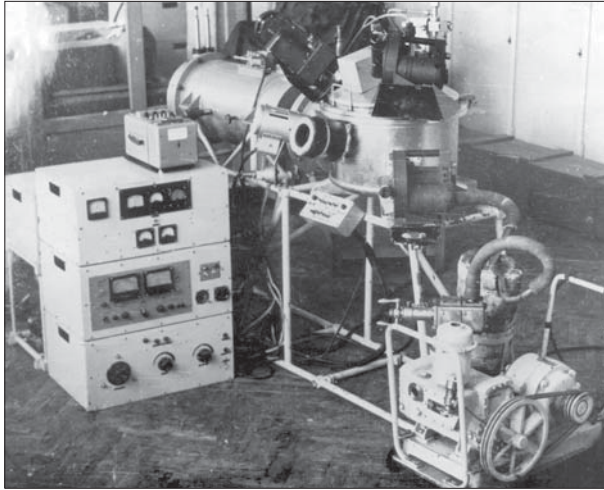
Директор Інституту академік Б.Є. Патон » [23].

Зверніть увагу на номери протоколів. І це за один робочий тиждень.

Поступово сформувався колектив фахівців, здатних вирішити найскладніші проблеми створення незвичайної техніки від ідеї до випробування, готовності до впровадження, коригування та подальшого розвитку. Результати досліджень, технічні завдання, ескізи та ідеї передавалися конструкторам. Проектувати незвичайну техніку Б.Є. Патон доручив найдосвідченішим фахівцям. Під керівництвом В.Є. Патона основні роботи виконували В.В. Стесін, А.А. Загребельний, Г.П. Дубінчук та ін. Електричну і вимірювальну частину стенду розробляв Ю.М. Ланкін, а зварювальні джерела живлення від бортових систем електрики — В.Д. Шелягін та ін. В першу чергу зайнялися проектуванням стенду для дослідження технологічних процесів в умовах, що імітують космос [24].

Лабораторія Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона літала по «кривий Кеплера». Оскільки створити невагомість в земних умовах неможливо, дослідження було вирішено проводити так, як тренують майбутніх космонавтів, — на спеціальному літаку. На той час у світі було лише п'ять місць, де готують космонавтів до невагомості в реальних умовах при польоті по особливій траєкторії. Вчені називають цю траєкторію «кривою Кеплера», льотчики — «гіркою», інструктори Центру підготовки космонавтів (ЦПК) — «параболічним польотом»: літак набирає висоту, потім різко знижується і знову злітає. На кінці висхідної ділянки кривої і при русі літака через її вершину виникає невагомість тривалістю до 30 секунд.

Літаюча лабораторія з конвертованого літака ТУ-104АК знаходилася у веденні Льотного випробувального інституту (ЛВІ, м. Жуковський, Мос-



Стенд А1084 для дослідження процесів зварювання у невагомості

ковська обл.). До липня 1965 року на ній змонтували патонівські стенди А1084. Вони склалися з вакуумних камер, механічних форвакуумних і сорбційно-гетерних високовакуумних насосів, авіаційних і швидкісних кінокамер, осцилографів, апаратури управління, джерел живлення, акселерометрів. На кришці однієї з камер встановлювали апарати для зварювання електронним променем або стислою дугою низького тиску, а на іншій — механізм подачі титанових, алюмінієвих або нержавіючих електродів, що плавляться.

Крім того, було змонтовано технологічну камеру з пристроєм, що імітує нагрівання сонячною енергією, розроблену в Національному інституті авіаційних технологій (м. Москва). У фокусі еліпсоїдного скляного концентратора перебувала ксенонова дугова лампа. Променивий потік від неї концентрувався в другому фокусі, в який вводили зразки. Лампу переміщали уздовж осі еліпсоїда, і відповідно фокусу змінювалася щільність променистого потоку на зразку. У камері також утворювали вакуум. Вивчалися процеси змочування припоями, формування крапель розплаву, пайку проводів, пластин та ін. Для допуску до експериментів на літаючій лабораторії нашим дослідникам Ю.М. Ланкіну, А.Є. Марченку, Ю.Д. Морозову, В.В. Юматову, В.Ф. Берестяну, О.А. Загребельному та іншим, хто розробив процеси, довелося пройти парашутну підготовку та іспити на центрифюзі.

Кожен експеримент починався на висоті 6 тис. м. У ході експерименту літак під кутом в 45° з максимальним прискоренням за 15 секунд набирав висоту 9 тис. м. Невагомість настає в момент досягнення приблизно 7500 м на висхідній і триває при польоті по балістичній траєкторії, тобто по плавній дузі, протягом 25—30 секунд, аж до проходження літаком такої ж висоти на низхідній гілці кривої. Вхід у невагомість горизонтального польоту і вихід з неї на горизонтальний політ супроводжуються двох- або трикратними перевантаженнями. Протягом невагомості двигуни літака працюють у режимі, необхідному для подолання зовнішнього опору польоту.

І знову зі звичайного горизонтального польоту літак злітає вгору — повторює параболу Кеплера. Після кожної «гірки» літак повертається в початкову точку, щоб відтворювати умови польоту, а також зарядити паливні та масляні акумулятори. Командир і другий пілот по черзі виконують «гірки» — адже утримувати штурвал у цьому режимі, не допускаючи навіть найменших відхилень, фізично дуже важко.

В ході польотів в умовах мікрогравітації та у вакуумі відтворювалися раніше відпрацьовані на землі режими зварювання. Необхідно було чітко, не втрачаючи дорогоцінні секунди невагомості, управляти режимами. З ранку виконували від п'яти до семи «гірок», перерва на заправку гасом в ЛВІ, бутерброд і повернення до Плещеева озера. Режим — точно по хвилинах. Під час експериментальних польотів небо звільняли. І так кілька днів, потім повернення до інституту, наукове оброблення, коригування. І знову польоти...

За декілька відряджень було отримано унікальні результати: зразки зварювання і різання, кінограми зйомок швидкохідними (до 4000 кадрів/хв.) і авіаційними (фотокулемет) кінокамерами синхронно з осцилографуванням. Звіт та кінофільми у вересні 1965 року було розглянуто на спеціальній нараді, яку провели С.П. Корольов і Б.Є. Патон. Результати досліджень не триматимуться в секреті: доповіді вчених ІЕЗ на міжнародних конференціях викличуть непідробний інтерес колег з усього світу.

Подальші дослідження продовжили знову в ІЕЗ. У 1966 р. ці ж установки змонтували в наземній барокамері великого об'єму, що дозволило з відомим наближенням відтворити на Землі умови космічного вакууму. Ці дослідження враховані при створенні першої експериментальної автоматичної установки А1092, пізніше названої «Вулкан».

«Вулкан» і підготовка до польоту. На «Вулкан» повністю поширювалися вимоги, що висуваються до бортової апаратури, — щодо вагових характеристик, кліматички та надійності. Але найбільше побоювань викликала безпека екіпажу і корабля. Необхідно було контролювати електричні високотемпературні пристрої й управляти ними. Але колектив науковців і конструкторів уже мав достатньо унікального досвіду. У роботі над «Вулканом» неоціненною виявилась здатність В.Є. Патона знаходити дотепні рішення конструкторських питань [25].

У 1966 році перший варіант апарата було виготовлено і почалися його комплексні випробування. Спочатку його дослідили у своїй вакуумній камері. Були «іспити» на міцність, надійність мікросхем та ін. В 1967 р. «Вулкан» доставили на завод № 918 у с. Томіліно (Московська обл., зараз НПП «Зірка» ім. Г.І. Северина). У великій вакуумній камері Ю.М. Ланкін у скафандрах при тиску, рівному тиску на висоті понад 100 км, випробував контактне зварювання ручними кліщами і «утюжком».

Доопрацювання та удосконалення тривали близько двох років. В кінці 1968 року роботу було завершено. Конструктори зварювальних апаратів

вирішили проблему зменшення ваги та споживання електроенергії, надійної роботи систем автоматичного управління.

«Вулкан» являв собою автономний пристрій, з'єднаний із системами корабля кабелями телеметрії. Конструктивно він складався з двох блоків. У робочому (негерметичному) знаходилися всі три зварювальні пристрої та обертовий стіл із зразками. У другому (герметичному) блоці розміщувалися прилади керування, засоби автоматики і вимірювань, система енергоживлення. Установа мала два пульти управління. Один розташовувався на кришці робочого блоку, другий — дистанційний — був з'єднаний кабелем із «Вулканом». Джерелом живлення служила акумуляторна батарея. В установці використовувалася гостросфокусована електростатична електронно-променева прямоканальна гармата [26].

У серпні 1969 року бригада ІЕЗ вилетіла на Байконур для встановлення «Вулкана» на космічному кораблі «Союз-6». Сам зварювальний апарат розмістили в шлюзовому відсіку, в якому мали створити тиск, близький до зовнішнього космічного. Екіпаж під час експериментів мав знаходитися в іншому, герметичному, відсіку, що мав повернутись на Землю. Саме там розмістили дистанційний пульт управління зварюванням.

Патонівці збираються на роботу в Космосі. Одночасно з технологічними дослідженнями і конструюванням апаратів для першого космічного експерименту почалася підготовка кадрів. Б.Є. Патон домовився з С.П. Корольовим про те, що в космосі на апараті ІЕЗ працюватиме співробітник інституту. У той час до загалу космонавтів набирали тільки військових льотчиків. За поданням С.П. Корольова Міністерством охорони здоров'я в 1965 р. в Інституті медико-біологічних проблем (ІМБП) (Москва, п/с № 3452) для відбору кандидатів у космонавти із цивільних фахівців заснували спеціальну медичну комісію. І Корольов почав направляти на медичний огляд інженерів свого ОКБ-1. В ІЕЗ так само направляли молодих спеціалістів до клініки лікувально-санітарного управління Радміну УРСР і Центрального військового госпіталю на дослідження за програмою «льотчик реактивної авіації».

Як і в Москві, першим етапом був триденний амбулаторний огляд, на якому відразу відсіювалося багато кандидатів. Решта проходили тритижневе стаціонарне обстеження. Більшості не вдалося подолати медичні або антропометричні обмеження. А з-серед 300 (за іншими даними — з-понад 1000) фахівців королівського ОКБ-1 медична комісія відібрала для підготовки до космічних польотів тільки 12 осіб. З ІЕЗ повністю задовольнили вимогам Ю.М. Ланкин, В.Д. Табелев, В.Г. Фартушний, В.В. Юматов.

Почалася стандартна підготовка за програмою космонавтів. Навесні 1965 року — парашутна підготовка в ЛВІ для допуску к польотам на невагомність, центрифуга, барокамера та ін. У липні 1965 року — попередня медкомісія в ІМБП, яку вони успішно витримали. У травні 1966 року — знову медкомісія в ІМБП та іспити.

Після отримання позитивного висновку комісії співробітники ІЕЗ в профілакторії ОКБ-1 почали вивчати за документами космічний корабель «Союз», займалися фізичною підготовкою. В.Д. Табелеву не сподобався «моральний клімат» у профілакторії й він повернувся на роботу в ІЕЗ.

14 січня 1966 року помер Сергій Павлович Корольов. 9 квітня 1966 року В.П. Мішин, який виконував обов'язки Головного конструктора ОКБ-1, видав наказ № 25 по ОКБ-1 (ЦКБЕМ) про формування в льотно-випробувальному відділі № 90 групи підготовки інженерів-випробувачів для участі у випробуваннях нового корабля «Союз» і кораблів-комплексів Л1 і Л3. Було сформовано і спеціальну комісію з відбору, яку очолив М.К. Тихонравов. В кінці серпня 1966 року після чергового медичного обстеження лише четверо кандидатів у космонавти від ОКБ-1 отримали «добро».

27 березня 1967 року вийшла Постанова ЦК КПРС і Ради Міністрів № 270-105 «Про підготовку космонавтів-випробувачів і космонавтів-дослідників». Було сформовано Постійну діючу медичну комісію (ПДМК) для перевірки стану здоров'я «цивільних космонавтів» [7].

У грудні 1967 року співробітників ІЕЗ запросили на підготовку в ЦПК і направили на додаткове місячне обстеження до Центрального військового науково-дослідного авіаційного госпіталю (ЦВНДАГ). Ю.М. Ланкіна і В.Г. Фартушного остаточно визнали придатними до польотів і надали їм статус кандидатів у космонавти-дослідники. 27 травня 1968 року наказом міністра загального машинобудування С.А. Афанасьєва № 163 в ЦКБЕМ було створено першу групу космонавтів-випробувачів із 10 співробітників ОКБ-1 і наукового співробітника ІЕЗ, кандидата технічних наук В.Г. Фартушного. 3 вересня 1968 р. він отримав статус космонавта-дослідника, травня 1969 року — почав завершальну підготовку в ЦПК в групі з В.О. Яздовським і В.І. Пацаєвим [27].

Ю.М. Ланкіна більше не викликали. В ІЕЗ він продовжував займатися енергетичними системами і системами управління космічного апарату [28].

(Пізніше Ю.М. Ланкін брав участь у створенні потужних електронно-променевих установок, що встановлюються на геофізичних ракетах для зондування навколосемної плазми. Брав участь у випробуваннях створеного унікального обладнання при запусках з космодрому Капустін Яр і з полігону на о. Кергелен спільно з французькими вченими. Але це інша історія.)

Проте першим космічним зварником було призначено В.М. Кубасова. З 1958 р. він працював у ОКБ-1 у відділі балістики. В 1966 р. Кубасова зараховано до загону космонавтів у групу цивільних спеціалістів і він пройшов курс підготовки.

Проте В.Г. Фартушний з листопада 1969 по травень 1970 року знов проходив підготовку вже в якості бортінженера КК «Союз» (7К-ОК) за програмою «Контакт», разом з О.О. Губарєвим. 3 червня 1971 року рішенням Лікарсько-експертної комісії ІМБП В.Г. Фартушного було відсторонено від

підготовки за станом здоров'я (О.О. Губарєв полетів на космічному кораблі «Союз-17» 11 січня 1975 року з борт-інженером Г.М. Гречко) [27].

Перший в світі експеримент. В.М. Кубасов прибув до Києва, отримав перепустку в ІЕЗ ім. Є.О. Патона і почав знайомитися з апаратом «Вулкан». О.А. Загребельний виявився терплячим учителем. У призначений час майбутнього космічного зварювальника було підготовлено.

Космічний корабель «Союз-6» із екіпажем у складі Г.С. Шоніна і В.М. Кубасова було запущено 11 жовтня 1969 р. Політ тривав 4 доби 22 год. 42 хв. 47 сек. 16 жовтня 1969 р. на його борту було здійснено технічну операцію, до якої готувалися шість років.

Екіпаж під час експериментів знаходився в герметичному відсіку. Після розгерметизації шлюзового відсіку космонавт-оператор В.М. Кубасов натиснув кнопку. Відповідно до програми було подано напругу на плазмотрон, потім — на пристрої зі зварювання електронним променем. Космонавт-оператор спостерігав за роботою установки по сигнальним табло на пульті управління.

Б.Є. Черток — соратник і заступник С.П. Королева, написав: «Пам'ятаю Б.Є. Патона молодим (пройшло 30 років). Вперше почув про нього, коли розроблялася Н1 — надважка ракета. Були потрібні баки для ракет. С.П. Корольов сказав: «Це зробить успішно Б.Є. Патон». Так Б.Є. Патон вперше долучився до дуже важкої роботи зі створення ракет. На Байконурі його автомати успішно зварювали неймовірно величезні баки для Н1 — ракети для польоту на Місяць. Але Б.Є. Патон запам'ятався мені не цим, а як розробник мініатюрних систем зварювання в космосі (1964 г.), коли тільки зварювали кораблі «Союзи». Тоді виникла ідея зварювання в невагомості. Було



О.А. Загребельний навчає В.М. Кубасова керувати роботою апарата «Вулкан»



Відкриття пам'ятника М.М. Бенардосу. Виступає Б.Є. Патон. Зліва: четвертий — О.М. Корнієнко, п'ятий — В.М. Кубасов; справа: перший — перший секретар Івановського обкому КППС В.Г. Ключев, другий — президент АН СРСР А.П. Александров. Сміт. Лух, Івановська область, 21.07.1981 р.

задумано політ 3-х кораблів відразу. На одному з них космонавти Г.С. Шонін і В.М. Кубасов повинні були провести перший у світі експеримент зі зварювання. Зварювальну апаратуру «Вулкан» треба було поєднувати із системою управління, а я відповідав за неї. Дійшла справа до польоту, настав час експерименту. Я запам'ятав Б.Є. Патона в цю годину. Він глибоко переживав події, що відбуваються в космосі. Ми то думали про інше — як пройде сам політ. Центр управління польотами був у Євпаторії, поруч море, квіти <...> Б.Є. Патон швидко ходив по доріжці, поглинений думками про перший у світі експеримент зі зварювання в космосі. Ми були вражені тим, що він краще, ніж ми, розумів, де його апарат може випадково пропалити конструкцію космічного корабля і тоді... Не будемо говорити про це. Зустрічаючи його на засіданнях АН СРСР, або бачачи в Президії під час засідань АН СРСР (РАН), я завжди згадував, як він крокував євпаторійськими доріжками, коли переживав за успіх нашої спільної справи» [29, с. 487].

У спогадах Кубасов значно перебільшує ризик у зв'язку із зупинкою поворотного стола. Якби космонавт був зварювальником за освітою або хоча б запам'ятав принцип роботи «Вулкана», він би не злякався і заспокоїв би Шоніна. Ніякої аварії бути не могло. Тривалість безперервної роботи не-



Б. Є. Патон показує космонавту О.А. Леонову зразки «космічного» зварювання

велика і обмежувалася ємністю акумуляторної батареї. Потужність зварювальних пристроїв для різних способів становила від 0,6 до 1,0 кВт. Щоправда, столик зі зразками з метою економії ваги був товщиною 3 мм. Коли столик зупинився, промінь пропалив його і зовсім тонкий корпус апарату. Але коли він подовжився і почав підплавляти внутрішню обшивку, джерело електрики вимкнулося. І, звичайно, стінку відсіку пропалити промінь не міг би. До того ж тиск у відсіку дорівнював заборотному, і розрив йому не загрожував. В космічних кораблях і станціях тиск атмосферний земний і досі жоден із них не розірвався. Проте в нагороду за «ризик» Кубасов пише: «За цей експеримент мене помістили в Зал міжнародної космічної слави — за початок проведення технологічних процесів в космосі» [15, с. 153]. (Можна доповнити: «Відтоді в СРСР без В.М. Кубасова не обходилися жодні заходи з приводу подій в історії зварювання».)

Зразки зварювання, осцилограми параметрів режимів і плівки кінозйомок було доставлено в ІЕЗ і ретельно вивчено. Незабаром перша в світі публікація вийшла за підписом не тільки Б.Є. Патона, а й В.М. Кубасова [30].

(Слід зазначити, що ще в 1943 р Б.Є. Патон і А.М. Макара провели осцилографічні дослідження зварювання під флюсом і вперше в світі довели наявність дугового процесу, тож особисто для Б.Є. Патона це було майже звичайне дослідження [31].)

Результати експерименту було опубліковано в радянській та зарубіжній пресі.

Зрозуміло, що найбільш ретельно, по-науковому розбиралася робота установки «Вулкан» у ІЕЗ. Підсумок підвів Б.Є. Патон, відповідаючи на питання Губарєва:

— Тоді в Центрі управління всі турбувалися, що ви зробите дірку в обшивці корабля ?!

— У нас був апарат, у якого обертався столик зі зразками для зварювання. Однак щось відмовило, столик перестав обертатися. Промінь пропалив



О.М. Корнієнко передає дублі космічних апаратів «Вулкан» і «Випарник» до музею М.М. Бенардоса

матеріал і почав «свердли» обшивку корабля. Експеримент, звісно, відразу ж припинився. «Галасу» було багато, хоча реальної небезпеки не було — просто космонавти не заходили б у цей відсік [19].

Оскільки було виготовлено три установки «Вулкан», то після польоту космічного корабля «Союз-6» планувався ще один політ. Керівництво галузі було «за», але з якихось причин для нової установки і для співробітника ІЕЗ місця в іншому космічному кораблі не знайшлося.

Висновки і перспективи. Створення першої виробничої технології у космосі розпочато з ініціативи Б.Є. Патона у 1963 р. і підтримано С.П. Корольовим. Ця робота вимагала великого обсягу нових знань. Дослідницька і технологічна апаратура проектувалася в наукових і конструкторських відділах ІЕЗ ім. Є.О. Патона, а виготовлялася в основному на Дослідному заводі зварювального устаткування. Науково-технологічні дослідження і розробки обладнання виконувалися у такому порядку: 1 — у вакуумних камерах в лабораторіях ІЕЗ, 2 — у вакуумних стендах в умовах невагомості на літаючій лабораторії ТУ-104АК. Співробітниками ІЕЗ було виконано десятки експериментів на літаючій лабораторії, результати яких стали основою для створення спеціального апарату «Вулкан». Група науковців ІЕЗ пройшла повну фізичну і робочу підготовку за програмою «космонавт-дослідник». Перші у світі експерименти зі зварювання у космосі виконано 16 жовтня

1969 р. на космічному кораблі «Союз-6» співробітником ОКБ-1 В.М. Кубасовим. На апараті «Вулкан» проведено в автоматичному режимі зварювання і різання металів дугою низького тиску, дуговою плазмою і електронним променем. Визначено, що при роботі за бортом космічних апаратів найбільш доцільно використовувати електронний промінь як джерело нагріву при зварюванні та споріднених технологій. Аналіз унікального космічного експерименту дав багато цікавого матеріалу для вдосконалення конструкції зварювальної апаратури і уточнення технології процесу зварювання. Головним підсумком досліджень став упевнений вибір на користь електронно-променевого нагріву як найбільш перспективного в космічних умовах. Крім того, підтвердилося, що більшість систем і механізмів установки «Вулкан» працювали безвідмовно, тобто при його проектуванні було прийнято правильні рішення. Експеримент показав, що зварювання та різання металів в умовах невагомості та космічного вакууму можливі, а відтак можна проводити в космосі ремонтні та монтажні роботи. В цілому цей унікальний експеримент поклав початок ери космічних технологій.

Роботи зі зварювання в космосі протягом 15—20 років розгорнулися у широку програму досліджень в галузі космічних технологій, фізики невагомості, матеріалознавства, будівництва металоконструкцій і навіть астрофізики. У період 1979—1984 рр. на орбітальних станціях «Салют-6» і «Салют-7» було успішно випробувано апарати для нанесення покриттів. Дослідження технологій та випробування нового обладнання тривали в наступні роки на борту орбітального комплексу «Мир» [32].

У статті, опублікованій на рубежі століть, Б.Є. Патон розглянув перспективні напрями розвитку космічних технологій в найближчі десятиліття [33].

Б.Є. Патон у день свого сторіччя в інтерв'ю В. Губареєву так оцінив значення і необхідність космічних досліджень: «У другій половині ХХ століття розвиток фундаментальної науки став неможливим без космічних досліджень. І тому для таких країн як США, СРСР, Німеччина, Англія, Канада і Японія вони стали невід'ємною частиною національної політики. А незабаром за «гігантами» пішли і багато країн, що розвиваються. Наприклад, у роботі Комітету ООН з використання космічного простору беруть участь понад 60 країн. Зрозуміло, що космонавтика охоплює широкий діапазон технічних напрямків, а тому нові зразки техніки і технології, розроблені для космічних досліджень, знаходять застосування в «земних» галузях.

Побічних виходів від космонавтики дуже багато, навіть на Комітеті ООН з використання космічного простору в мирних цілях обговорюється ця проблема. І, чесно кажучи, очі розбігалися від кількості всіляких пропозицій, і було на конференції чимало представників бізнесу, звичайно ж, західного <...> Треба розуміти, що технократична діяльність набула в кінці ХХ століття такого розмаху, що впливає вже і на життя кожної людини, і на регіони, і на всю Землю як середовище проживання людства.

На 45-й сесії Генеральної Асамблеї ООН Україна була прийнята до складу Комітету ООН з використання космічного простору в мирних цілях. Участь представників України в роботі цього Комітету дозволила ще раз переконатися, що без використання в соціально-економічній галузі тих гігантських можливостей, що дає освоєння космічного простору, в сучасному світі неможливо покінчити з економічною, технологічною та соціальною відсталістю, вивести країну на рівень сучасного науково-технічного прогресу, створити людям гідні умови життя. Здавалося б, це прописні істини, але їх, тим не менше, доводиться постійно повторювати» [19].

Світова спільнота звернула увагу на чергову незвичайну подію. Газета «Таймс» (Лондон) у той час так оцінила зварювання в космосі: «Виходячи з наявних досі відомостей здається, що росіяни готуються виконувати в космічному просторі значну роботу, щоб перетворити секції ракет в майстерню або лабораторію. Американці збираються виконувати більшу частину робіт на Землі» [34, с. 89]. На початку 1980-х років у США експерименти з аргоно-дугового зварювання і електронно-променевого зварювання алюмінієвих і титанових сплавів, сталі і танталу виконувалися на космічних станціях при балістичних польотах за програмою «Texas» [12, 13]. Наразі ІЕЗ продовжує працювати над проблемами космічних технологій на замовлення США і Китаю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сварка в космосе [Електронний ресурс]. URL: <http://svarak.ru/svarka-v-kosmose/nachalo-issledovaniy-svarke-kosmose>. (дата звернення: 10.09.2019).
2. Астафьева О. Первая сварка [Електронний ресурс]. URL: <http://erazvitie.org/article/regvaqa-svarka> (дата звернення: 10.09.2019)
3. Космос: технологии, материаловедение, конструкции. Сборник научных трудов / Под ред. акад. Б.Е. Патона. К.: Институт электросварки, 2000. 320 с.
4. Беляков И.Т., Борисов Ю.Д. Технология в космосе. М.: Машиностроение, 1974. 290 с.
5. Патон Б.Е., Дудко Д.А., Лапчинский В.Ф. Сварочные процессы в космосе. В кн. *Сварка и специальная электрометаллургия*. К.: Наукова думка, 1984. С. 121—129.
6. Патон Б.Е. Сварка в космосе. *Наука и жизнь*. 1964. № 11. С. 13.
7. Космическая энциклопедия [Електронний ресурс]. URL: http://astronaut.ru/as_russia/energia/text/sell_0.htm (дата звернення: 10.09.2019).
8. Патон Б.Е., Кубасов В.Н. Десять лет космической технологии. *Автоматическая сварка*. 1979. № 12. С. 1—3.
9. Лапчинский В.Ф. Сварка в космосе. В кн: *Сварка в СССР. Т. 1*. М.: Наука, 1981. С. 487—493.
10. Корниенко А.Н., Макаренко Н.А. К 30-летию первых экспериментов по сварке в космосе. *Сварочное производство*. 2000. № 1. С. 45—47, 60, 61.
11. Горбулін В.П., Яцків Я.С. Б.Є. Патон і розвиток космічної науки та технологій. *Космічна наука технології*. 2018. № 24(5). С. 43—52.
12. Karpeijn J, Luyendijk T. Lassen in de reimte. *Lastechniek*. 1983. 49. No 10. S. 173—175.
13. Raumfahrt — physikalische Gruhdlagen und technische Nutzuhg. Naumann Emanuel. *ZIS-Mitt*. 1984. 26. No 3. S. 320—330.

14. Волченко В.Н., Бутаков В.И., Белоногов А.П. Обеспечение качества сварки при монтаже космических конструкций. Материалы XX чтений: *К. Э. Циолковский и проблемы космической индустриализации*. (Калуга, 17–20 сентября, 1985 г.). М., 1987. С. 46–52.
15. Тема «Звезда». Набор в ИЭС для сварки в космосе. [Электронный ресурс]. URL: http://www.astronaut.ru/as_russia/veld/start.htm (дата звернення: 10.09.2019).
16. Кубасов В.Н. Прикосновение космоса (литературная запись И. Андреева.) М.: Политиздат, 1984. 178 с.
17. Каманин Н. П. Легчики и космонавты. (О жизни и о себе.) М.: Политиздат, 1971. 448 с.
18. Борис Євгенович Патон. Біобібліографія. К.: Наукова думка, 2008. 623 с.
19. Губарев В. Академик Борис Патон: «Эверест» в науке. Ч. 1. 15 ноября 2018. URL: <https://www.pravda.ru/science/academy/15-11-2018/1399928-paton-0/> (дата обращения: 10.09.2019)
20. Патон Б.Е. Проблемы космической технологии. *Космическое материаловедение и технология*. М.: Наука, 1977. С. 6–12.
21. Матеріали Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона. Протоколи нарад. Архів ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Ф. 1963. Оп. 1. Спр. 472.
22. Малиновский Б.Н. Академик Борис Патон — Труд на всю жизнь. М.: Изд-во «ПЕР СЭ», 2002. 271 с.
23. Матеріали Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона. Протоколи нарад. Архів ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Ф. 1964. Оп. 1. Спр. 410-526.
24. Патон Б.Е., Патон В.Е., Дудко Д.А. Стенд для исследования технологических процессов в условиях, имитирующих космос. В кн.: *Космические исследования на Украине*. К.: Наукова думка, 1973. Вып. 1. С. 5–9.
25. Стесин В.В. В.Е. Патон в работах по космическим технологиям. *Коллега*. 2007. № 7. С. 26–32.
26. Патон Б.Е., Назаренко О.К., Чалов В.И. Особенности аппаратуры и процесса электронно-лучевой сварки и резки в условиях космоса. *Автоматическая сварка*. 1971. № 3. С. 3–8.
27. Владимир Григорьевич Фартушный [Электронный ресурс]. URL: http://astronaut.ru/as_russia/veld/text/fartushny.htm?reload_coolmenus (дата обращения: 10.09.2019)
28. Юрий Николаевич Ланкин [Электронный ресурс]. URL: http://www.astronaut.ru/as_russia/veld/text/lankin.htm?reload_coolmenus (дата обращения: 10.09.2019)
29. Черток Б.Е. Ракеты и люди. Кн. 4. Лунная гонка. М.: Машгиз, 1997. 785 с.
30. Патон Б.Е., Кубасов В.Н. Эксперимент по сварке металлов в космосе. *Автоматическая сварка*. 1970. № 5. С. 7–12.
31. Патон Б.Е., Макара А.М. Экспериментальное исследование процесса автоматической сварки под слоем флюса. К.: ИЭС, 1944. 92 с.
32. Патон Б.Е., Михайловская Е.С., Шулым В.Ф., Загребельный А.А., Никитский В.П. Возможность восстановления покрытий в реальных условиях космоса. *Автоматическая сварка*. 2000. № 1. С. 33–38, 52.
33. Патон Б.Е. Космические технологии на рубеже третьего тысячелетия. *Автоматическая сварка*. 2000. № 3. С. 3–5.
34. Каманин Н.П., Ребров М.Ф. Семеро на орбите. М.: Молодая гвардия. 1969. С. 95.

Одержано 23.07.2019

REFERENCES

1. Welding in space. Retrieved from <http://svarak.ru/svarka-v-kosmose/nachalo-issledovaniy-svarka-kosmose>. (accessed: 09/10/2019) [in Russian].
2. Astafieva, O. First welding. Retrieved from <http://erazvitie.org/article/pervaya-svarka> (accessed: September 10, 2019) [in Russian].

3. Space: technology, materials science, design. Collection of scientific works. Acad. B.E. Paton (Ed.). Kiev: Institute of Electric Welding, 2000 [in Russian].
4. Belyakov, I.T., Borisov, Yu.D. (1974). *Technology in space*. Moscow: Mechanical Engineering, 1974 [in Russian].
5. Paton, B.E., Dudko, D.A., Lapchinsky, V.F. (1984). Welding processes in space. In: *Welding and special electrometallurgy*. Kiev: Naukova Dumka, 121—129 [in Russian].
6. Paton B.E. (1964). Welding in space. *Science and life*, 11, p. 13 [in Russian].
7. Space Encyclopedia. Retrieved from http://astronaut.ru/as_russia/energia/text/sell_0.htm (accessed: 09/10/2019) [in Russian].
8. Paton, B.E., Kubasov, V.N. (1979). Ten years of space technology. *Automatic welding*, 12, 1—3 [in Russian].
9. Lapchinsky, V.F. (1981). Welding in space. In: *Welding in the USSR. Vol. 1*. Moscow: Nauka, 487—493 [in Russian].
10. Kornienko, A.N., Makarenko, N.A. (2000). To the 30th anniversary of the first experiments in welding in space. *Welding production*, 1, pp. 45—47, 60, 61 [in Russian].
11. Gorbulin, V.P., Yatskiv, Ya.S. (2018). B.E. Paton and development of space science and technology. *Space science of technology*, 24(5), 43—52.
12. Kapteijn, J., Luyendijk, T. (1983). Lassen in de reimte. *Lastechniek*, 10, 173—175.
13. Raumfahrt — physikalische Grudlagen und technische Nutzuhg. Naumann Emanuel. *ZIS-Mitt.* 1984, 26, No 3, 320—330.
14. Volchenko, V.N., Butakov, V.I., Belonogov, A.P. (1987). Ensuring the quality of welding during the installation of space structures. Proceedings from the 10th readings: *K.E. Tsiolkovsky and the problems of space industrialization* (pp. 46—52). Moscow [in Russian].
15. Theme “Star”. Recruitment in the IES for welding in space. Retrieved from http://www.astronaut.ru/as_russia/veld/start.htm (accessed: 09/10/2019) [in Russian].
16. Kubasov, V.N. (1984). *A touch of space (literary record by I. Andreyev)*. Moscow: Politizdat [in Russian].
17. Kamanin, N. P. (1971). *Pilots and astronauts. (About life and about oneself)*. Moscow: Politizdat [in Russian].
18. Borys Yevhenovych Paton. Biobibliography. Kyiv: Naukova Dumka, 2008 [in Ukrainian].
19. Gubarev, V. Academician Boris Paton: “Everest” in science. Part 1. November 15, 2018. Retrieved from <https://www.pravda.ru/science/academy/15-11-2018/1399928-paton-0/> (accessed September 10, 2019) [in Russian].
20. Paton, B.E. (1977). Problems of space technology. In: *Space materials science and technology*. Moscow: Nauka, 6—12 [in Russian].
21. Records of Paton Electric Welding Institute. Records of meetings. Archive of Paton Electric Welding Institute. Form 1963. Register 1. Ref. 472 [in Ukrainian].
22. Malinovsky, B.N. (2002). *Academician Boris Paton: Work for the whole life*. Moscow: PER SE Publishing House [in Russian].
23. Records of Paton Electric Welding Institute. Records of meetings. Archive of Paton Electric Welding Institute. Form 1964. Register 1. Ref. 410-526 [in Ukrainian].
24. Paton, B.E., Paton, V.E., Dudko, D.A. (1973). A stand for the study of technological processes in conditions simulating space. In: *Space Research in Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, issue 1, pp. 5—9 [in Russian].
25. Stesin, V.V. (2007). V.E. Paton in space technology. *Colleague*, 7, 26—32 [in Russian].
26. Paton, B.E. Nazarenko, O.K., Chalov, V.I. (1971). Features of the equipment and the process of electron beam welding and cutting in space. *Automatic welding*, 3, 3—8 [in Russian].
27. Vladimir G. Fartushnyi. Retrieved from http://astronaut.ru/as_russia/veld/text/fartushny.htm?reload_coolmenus (accessed September 10, 2019) [in Russian].
28. Yuri Nikolaevich Lankin. Retrieved from http://www.astronaut.ru/as_russia/veld/text/lankin.htm?reload_coolmenus (accessed September 10, 2019) [in Russian].

29. Chertok, B.E. (1997). *Rockets and people. Book 4. Lunar race*. Moscow: Mashgiz [in Russian].
30. Paton, B.E., Kubasov, V.N. (1970). An experiment on welding metals in space. *Automatic welding*, 5, 7—12 [in Russian].
31. Paton, B.E., Makara, A.M. (1944). *An experimental study of the process of automatic welding under a flux layer*. Kiev: IES [in Russian].
32. Paton, B.E., Mikhailovskaya, E.S., Shulym, V.F., Zagrebelny, A.A., Nikitsky, V.P. (2000). The ability to restore coatings in real space conditions. *Automatic welding*, 1, 33—38, 52 [in Russian].
33. Paton, B.E. (2000). Space technology at the turn of the third millennium. *Automatic welding*, 3, 3—5 [in Russian].
34. Kamanin, N.P., Rebrov, M.F. (1969). *Seven in orbit*. Moscow: Molodaya gvardiya, p. 95 [in Russian].

Received 23.07.2019

А.Н. Корниенко, кандидат технических наук,
доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник,
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины,
03680, Украина, Киев, ул. Казимира Малевича, 11,
<https://orcid.org/0000-0001-5784-0930>,
e-mail: korney@paton.kiev.ua

У ИСТОКОВ КОСМИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ

Представлена история зарождения и создания технологий сварки в космосе. Систематизированы материалы публикаций, архивов и мемуаров. В 1963 г. директор Института электросварки им. Е.О. Патона (ИЭС) академик Б.Е. Патон предложил создать сварку в космосе. Главный конструктор ракет С.П. Королев поддержал эту идею.

Работа выполнялась поэтапно. Небольшие вакуумные камеры были изготовлены в научных отделах ИЭС. Режимы и требования к оборудованию дуговой сварки и электронно-лучевой сварки исследовали в этих камерах. Специальные вакуумные стенды были изготовлены для размещения в самолете для подготовки космонавтов. Состояние невесомости 25—30 секунд создано при полете летающей лаборатория по кривой Кеплера. Сотрудники ИЭС включали аппараты и наблюдали за сваркой образцов. Результаты исследований регистрировали киносъёмкой и осциллографированием. На основании этих исследований были разработаны требования к аппарату для размещения на космическом корабле и эксперименту по сварке в космических условиях. Ученые решили проблемы расплавленного металла в невесомости, дуговой сварки в вакууме. Конструкторы сварочных аппаратов решали проблему уменьшения веса и потребления электроэнергии, надежной работы систем автоматического управления.

Первые в мире космические эксперименты по сварке и резке металлов дугой низкого давления, дуговой плазмой и электронным лучом выполнены 16 октября 1969 г. на аппарате «Вулкан» космонавтом-испытателем В.Н. Кубасовым. Определено, что при работе за бортом в качестве источника нагрева наиболее целесообразно использовать электронный луч. Сварка в космосе оценивается как очередной научно-технический прорыв в истории человечества. В последующие годы космические технологии начали разрабатываться в других странах. Широкая программа исследований развернута в области физики невесомости, материаловедения, строительства конструкций, астрофизики и др.

Ключевые слова: индустриализация космоса, сварка в космосе, история техники, Институт электросварки им. Е.О. Патона, космический корабль «Союз-6», космонавт-исследователь.

O.M. Kornienko, PhD (Engineering), Dsc (History), leading researcher,
Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,
11, Kazimir Malevich str., Kyiv, 03680, Ukraine,
<https://orcid.org/0000-0001-5784-0930>,
e-mail: korney@paton.kiev.ua

AT THE ORIGINS OF SPACE INDUSTRIALIZATION

The history of the origin and creation of welding technologies in space is presented. Materials of publications, archives and memoirs systematized. In 1963, director of the Paton Electric Welding Institute (EWI) academician B.E. Paton proposed the creation of welding in space. The chief designer of rockets, S.P. Korolev, supported this idea.

The work was carried out in stages. Small vacuum chambers were made in the scientific departments of the EWI. The modes and requirements for arc welding equipment and electron beam welding were investigated in these chambers. Special vacuum stands were made for placement on an airplane for training astronauts. A state of zero gravity of 25—30 seconds was created during the flight of a flying laboratory along the Kepler curve. The employees of the IES turned on the apparatus and observed the welding of the samples. The research results were recorded by filming and oscillography. Based on these studies, requirements were developed for the device for placement on a spaceship and an experiment on welding in space conditions. Scientists solved the problems of molten metal in zero gravity, arc welding in a vacuum. Designers of welding machines solved the problem of reducing weight and energy consumption, reliable operation of automatic control systems.

The world's first space experiments on welding and cutting metals with a low-pressure arc, arc plasma and electron beam were performed on October 16, 1969 on the “Vulkan” apparatus by test cosmonaut V.N. Kubasov. It was determined that when working overboard as the source of heating, it is most advisable to use an electron beam. Welding in space is regarded as another breakthrough in the scientific and technological progress of mankind. In subsequent years, space technologies began to be developed in other countries. A wide research program has been launched in the field of zero gravity physics, materials science, structural engineering, astrophysics, etc.

Keywords: *space industrialization, welding in space, history of technology, Paton Electric Welding Institute, spacecraft “Soyuz-6”, astronaut-researcher.*